

SIFAT FISIK DAN MEKANIK PAPAN PARTIKEL DARI AMPAS JARAK KEPYAR**PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF PARTICLE BOARD FROM CASTOR CAKE MEAL**Mersi Kurniati^{1,2)}, Ika Amalia Kartika^{3)*}, Farah Fahma³⁾, Titi Candra Sunarti³⁾,
Khaswar Syamsu³⁾, Dede Hermawan⁴⁾¹⁾Program Studi Teknologi Industri Pertanian, Sekolah Pascasarjana, IPB²⁾Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Pengetahuan Alam, IPB³⁾Departemen Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, IPB
Kampus IPB Darmaga P.O. Box 220, Bogor 16002, Indonesia
E-mail : ikatk@yahoo.com⁴⁾Departemen Teknologi Hasil Hutan, Fakultas Kehutanan, IPB**ABSTRAK**

The castor cake meal was a by-product of castor oil production and its has recently been highly rated as a source of raw material for particle board, because beyond its high protein content (32-48%) and fibre (28-33%). The objective of this research was to produce and investigate the physical and mechanical properties of the particle board from castor cake meal. Particle board samples were manufactured using hot pressing temperatures (150-190 °C), pressing time (4-12 minutes), compressed using a pressure (140-220 kg/cm²) with particles size of 20-100 mesh. The central composite design (CCD) method and ANOVA ($\alpha=0.05$) with response surface method (RSM) were used to evaluate production of the particle board. The physical and mechanical properties of particle board were determined based on Japanese Industrial Standards, JIS A 5908-2003 type-8. The experimental results showed that the pressing process conditions affected the physical and mechanical properties of particle board. The particle size were significant factor for moisture content, density, water absorption and thickness swelling, pressing temperature were significant factors for modulus of elasticity, modulus of rupture and internal bonding of particle board. The smaller particle size (20 to 60 mesh) and the higher pressing temperature (150 to 170 °C), increased moisture content, density, modulus of elasticity, modulus of rupture, and bonding strength and decreased water absorption and thickness swelling of particle board. Physical and mechanical properties obtained from the best process conditions at a temperature of 170 °C, time of 8 minutes, pressure of 180 kgf/cm² and 60 mesh particle size. Based on the overall results, the physical and mechanical properties of particle board did not met requirement of the JIS A 5908-2003 except for moisture content, density and internal bonding.

Keywords: *castor cake meal, particle board, modulus of elasticity, modulus of rupture, internal bonding*

ABSTRAK

Ampas jarak kepyar merupakan produk samping dari proses ekstraksi minyak jarak kepyar yang saat ini belum dimanfaatkan secara optimal. Sebagai produk samping yang mengandung protein (32-48%) serta serat kasar (28-33%), ampas jarak kepyar memiliki potensi untuk dimanfaatkan sebagai bahan baku papan partikel. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sifat fisik dan mekanik papan partikel yang dihasilkan dari ampas jarak kepyar. Papan partikel diproduksi pada berbagai kondisi proses yang meliputi suhu kempa (150-190°C), waktu kempa (4-12 menit), tekanan kempa (140-200 kgf/cm²) dan ukuran partikel (20-100 mesh). Penelitian dirancang menggunakan *Central Composite Design* (CCD), dan data dianalisis dengan ANOVA ($\alpha=0,05$) dan *Response Surface Method* (RSM). Pengujian sifat fisik dan mekanik papan partikel sesuai standar pengujian menurut JIS A 5908-2003 tipe-8. Secara umum, kondisi proses pengempaan mempengaruhi sifat fisik dan mekanik papan partikel. Namun demikian, ukuran partikel berpengaruh nyata terhadap kadar air, kerapatan, daya serap air dan pengembangan tebal, dan suhu pengempaan berpengaruh secara nyata terhadap kekuatan lentur, keteguhan patah dan keteguhan rekat papan partikel. Semakin kecil ukuran partikel (20 sampai 60 mesh) dan semakin tinggi suhu pengempaan (150 sampai 170°C), kadar air, kerapatan, kekuatan lentur, keteguhan patah dan keteguhan rekat semakin meningkat sedangkan daya serap air dan pengembangan tebal papan partikel semakin menurun. Sifat fisik dan mekanik terbaik diperoleh dari kondisi proses pada suhu 170°C, waktu 8 menit, tekanan 180 kgf/cm² dan ukuran partikel 60 mesh. Sifat fisik dan mekanik papan partikel umumnya belum memenuhi standar JIS A 5908-2003 kecuali untuk kadar air, kerapatan dan keteguhan rekat.

Kata kunci : ampas jarak kepyar, papan partikel, kekuatan lentur, keteguhan patah, keteguhan rekat

PENDAHULUAN

Kebutuhan papan partikel semakin meningkat seiring perkembangan industri papan partikel yang didukung oleh perkembangan beberapa sektor industri seperti sektor bangunan, perumahan

dan *furniture* (Nemli *et al.*, 2006). Papan partikel merupakan produk panel yang terbuat dari kayu atau bahan berserat lainnya yang diikat dengan perekat organik ataupun sintesis dan dikempa panas (Maloney, 1993). Perekat yang umum digunakan pada industri papan partikel adalah urea

*Penulis untuk korespondensi

formaldehida dan fenol formaldehida, yang dapat mengeluarkan emisi formaldehida sehingga mengakibatkan gangguan kesehatan dan mencemari lingkungan (Hashim *et al.*, 2011a).

Saat ini telah terjadi penurunan potensi hutan akibat eksploitasi hutan sehingga ketersediaan bahan baku kayu mulai berkurang. Oleh karena itu industri papan partikel mulai memanfaatkan potensi bahan baku yang berasal dari bahan lignoselulosa non kayu seperti ampas jarak kepyar.

Ampas jarak kepyar yang jumlahnya semakin meningkat akibat peningkatan produksi minyak castor di dalam maupun luar negeri sampai saat ini belum dimanfaatkan secara optimal. Selama ini pemanfaatannya terbatas untuk pembuatan pupuk organik (Lima *et al.*, 2011) dan pakan ternak (Batista *et al.*, 2011). Dengan kandungan protein (32-48%) dan serat yang tinggi (28-33%), ampas jarak kepyar memiliki peluang dijadikan sebagai bahan baku papan partikel. Protein dapat berfungsi sebagai perekat alami dan serat ampas dapat menggantikan fungsi serat kayu.

Saat ini beberapa penelitian tentang produksi papan partikel dari ampas hasil pengepresan minyak telah banyak dilakukan seperti dari ampas jarak kepyar dengan poliester (Nwigbo *et al.*, 2013), protein ampas jarak kepyar untuk material biodegradabel (Roseli *et al.*, 2012), ampas jagung, kedelai dan jarak pagar (Diebel *et al.*, 2012), ampas bunga matahari (Evon *et al.*, 2010), protein kedelai dengan serat kayu (Li *et al.*, 2009) dan serat inti kenaf dengan perekat lignin (Okuda *et al.*, 2006a).

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sifat fisik dan mekanik papan partikel yang diproduksi dari ampas jarak kepyar pada berbagai kondisi proses yang meliputi suhu kempa (150-190°C), waktu kempa (4-12 menit), tekanan kempa (140-200 kgf/cm²) dan ukuran partikel (20-100 mesh). Penelitian dirancang menggunakan *Central Composite Design* (CCD) dan data dianalisis menggunakan ANOVA ($\alpha = 0,05$) dan *Response Surface Method* (RSM). Pengujian sifat fisik dan mekanik papan partikel meliputi kadar air, kerapatan, daya serap air, pengembangan tebal, kekuatan lentur (MOE), keteguhan patah (MOR) dan keteguhan rekat (IB).

BAHAN DAN METODE

Bahan dan Alat

Bahan baku yang digunakan adalah ampas jarak kepyar hasil dari proses ekstraksi minyak secara mekanik menggunakan ekspeler, yang diperoleh dari PT. *Bio Greenland* Nusa Tenggara Barat. Bahan kimia yang digunakan meliputi H₂SO₄, NaOH, HCl, indikator mensel, heksan, alkohol, larutan NDS dan ADS. Alat-alat yang digunakan adalah *hammer mill*, saringan 20, 40, 60, 80 dan 100 mesh, cetakan press persegi 10 cm x 10 cm x 0.5 cm, lembaran teflon, oven, desikator, inkubator,

Universal Testing Machine (UTM) merk Instron 3369 dan alat-alat untuk analisis proksimat.

Metode

Bahan baku ampas jarak kepyar dikeringkan pada suhu 50°C selama 24 jam sampai kadar airnya $\pm 7\%$. Ampas kering selanjutnya digiling dan diayak pada beberapa ukuran (20, 40, 60, 80 dan 100 mesh). Ampas kering sebelum dan sesudah pengecilan ukuran kemudian dikarakterisasi komponen-komponennya (kadar air, protein, minyak, serat kasar dan abu) berdasarkan SNI-01-2891-1992, serta komponen serat seperti selulosa, lignin dan hemiselulosa dengan menggunakan metode Van Soest (1991). Papan partikel ampas jarak kepyar diproduksi dengan ukuran 10 cm x 10 cm x 0,5 cm, dan kerapatan yang diinginkan sekitar 0,9 g/cm³. Partikel dengan ukuran 20-100 mesh didistribusikan secara merata ke dalam cetakan, dan selanjutnya dikempa panas pada berbagai kondisi proses pengempaan: suhu (150-190 °C), waktu (4-12 menit) dan tekanan (140-220 kgf/cm²).

Papan partikel hasil pengempaan kemudian dikondisikan pada suhu 30°C selama 14 hari untuk tujuan membebaskan tegangan-tegangan di permukaan lembaran. Papan partikel selanjutnya dipotong menjadi bagian-bagian contoh uji serta dilakukan pengujian sifat fisik dan mekanik sesuai metode ASTM D 143-2007. Hasil pengujian sifat fisik dan mekanik tersebut selanjutnya dibandingkan dengan JIS A 5908-2003 tipe-8.

Rancangan percobaan menggunakan CCD dengan 3 kali ulangan dan masing-masing ulangan dilakukan secara duplo. Rancangan ini terdiri dari titik-titik faktorial ortogonal dan titik pusat, ditambah dengan titik aksial/observasi (Dean dan Voss, 1999). Parameter kondisi proses pengempaan yang diteliti adalah suhu, waktu, tekanan dan ukuran partikel (Tabel 1). Analisis keragaman (ANOVA) dengan $\alpha = 0,05$ dan metode permukaan respon (RSM) (Montgomery, 2001) selanjutnya dilakukan untuk mengetahui pengaruh parameter-parameter kondisi proses pengempaan tersebut terhadap sifat fisik dan mekanik papan partikel, yang meliputi kadar air, kerapatan, daya serap air, pengembangan tebal, kekuatan lentur, keteguhan patah dan keteguhan rekat papan partikel.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Ampas Jarak Kepyar

Ampas jarak kepyar yang digunakan dalam penelitian ini mempunyai kadar protein (32,04%) dan kadar serat kasar (33,22%) cukup tinggi (Tabel 2). Hasil analisa komponen serat memberikan hasil kandungan lignin yang cukup tinggi (Tabel 3). Kandungan protein dan serat yang tinggi dalam ampas jarak kepyar ini diharapkan mampu menghasilkan sifat fisik dan mekanik papan partikel yang lebih baik.

Tabel 1. Kondisi proses produksi papan partikel ampas jarak kepyar

Faktor	Nilai Level				
	-2	-1	0	1	2
Suhu (°C), X_1	150	160	170	180	190
Waktu (menit), X_2	4	6	8	10	12
Tekanan (kgf/cm ²), X_3	140	160	180	200	220
Ukuran Partikel (mesh), X_4	20	40	60	80	100

Tabel 2. Karakteristik ampas jarak kepyar sebelum dan sesudah pengecilan ukuran

Parameter	Sebelum pengecilan ukuran	Akande <i>et al.</i> (2012)	Sesudah pengecilan ukuran				
			20 mesh	40 mesh	60 mesh	80 mesh	100 mesh
Kadar air (% bb)	7,45	9,34	7,56	7,77	7,80	7,15	7,59
Kadar abu (% bb)	7,52	5,87	7,78	7,81	7,84	7,92	8,09
Kadar protein (% bb)	32,04	38,58	32,37	32,91	34,00	37,59	46,27
Kadar serat (% bb)	33,22	3,46	32,29	30,33	29,61	16,73	11,69
Kadar lemak (% bb)	7,72	-	10,13	10,57	10,05	9,54	4,73

Tabel 3. Karakteristik komponen serat ampas jarak kepyar

Parameter	Hasil Penelitian	Roseli <i>et al.</i> (2012)
Selulosa (%)	18,33	10,45
Hemiselulosa (%)	3,85	9,51
Lignin (%)	30,84	23,54

Dibandingkan dengan penelitian sebelumnya, menurut Akande *et al.* (2012), kadar protein (38,58%) dan kadar serat (3,46%), kadar protein ampas jarak kepyar yang digunakan dalam penelitian ini lebih rendah dan kadar seratnya lebih tinggi, sedangkan jika dibandingkan dengan penelitian lainnya (protein < 32%) (Annongu *et al.*, 2008), kadar protein ampas jarak kepyar penelitian ini relatif sama. Perbedaan kadar protein dan serat tersebut disebabkan karena perbedaan varietas, tempat tumbuhnya, umur panen, perlakuan awal dan metode proses ekstraksi minyak jarak kepyar tersebut. Ampas jarak kepyar yang digunakan pada penelitian ini merupakan hasil samping dari proses ekstraksi minyak jarak kepyar secara mekanik menggunakan ekspeler dan cangkang bijinya tidak dikupas terlebih dahulu sehingga kandungan serat pada ampas masih cukup tinggi. Pada penelitian lainnya (Akande *et al.*, 2012; Nwigbo *et al.*, 2013) cangkang umumnya dipisahkan dari daging biji sehingga ampas yang dihasilkan, kadar seratnya lebih rendah dan kadar proteinnya lebih tinggi.

Dalam pembuatan *binderless* papan partikel, protein berperan penting dalam mekanisme pengikatan dengan komponen serat dengan membentuk kompleks sehingga meningkatkan daya kohesi antar permukaan serat (Evon *et al.*, 2010). Disamping itu, daya rekat protein dipengaruhi juga oleh bentuk permukaan dan ukuran partikel yang akan diikat. Bentuk permukaan partikel yang halus memiliki ukuran partikel kecil dan permukaan partikel yang kasar memiliki ukuran partikel lebih besar. Daya rekat protein dapat bekerja efektif apabila ukuran partikel tidak terlalu besar atau

terlalu kecil karena perekatan antara protein dan serat merupakan hasil kombinasi dari proses adhesi secara mekanik melalui proses penetrasi protein ke dalam struktur permukaan serat dan struktur acak mikro yang didominasi oleh gaya tarik menarik antar molekul seperti gaya van der Waals, ikatan hidrogen dan interaksi hidrofobik (Kumar *et al.*, 2002). Dengan semakin meningkatnya daya adhesi protein dengan serat, maka sifat fisik dan mekanik papan partikel juga akan semakin baik.

Dibandingkan dengan penelitian sebelumnya (Roseli *et al.*, 2012), kadar selulosa (< 11%) dan kadar lignin (< 24%) ampas jarak kepyar yang dihasilkan dalam penelitian ini lebih tinggi, sedangkan kadar hemiselulosanya (> 9%) lebih rendah (Tabel 3). Dalam pembuatan *binderless* papan partikel, lignin dapat berfungsi sebagai perekat karena terdiri dari molekul-molekul senyawa polifenol, dan hemiselulosa terdegradasi yang dapat berfungsi sebagai perekat (Okuda *et al.*, 2006b). Pengempaan panas dapat mengaktifkan lignin dan hemiselulosa, sehingga dapat meningkatkan ikatan antara partikel dan kekuatan papan partikel akan semakin baik.

Perlakuan pendahuluan pengecilan ukuran dilakukan untuk memisahkan cangkang yang mengandung serat tinggi sehingga dapat meningkatkan kandungan protein dalam ampas jarak kepyar. Selain itu, pengecilan ukuran juga bertujuan untuk mendapatkan bentuk geometri partikel ampas jarak kepyar dengan struktur acak mikro seperti jalinan partikel (*finger joint*) yang lebih banyak. Peningkatan struktur acak mikro dan kandungan protein (sebagai bahan pengikat serat) pada ampas

jarak kepyar ini, dapat mempermudah sistem pengikatan kedua komponen tersebut (Kumar *et al.*, 2002).

Perlakuan pengecilan ukuran ampas jarak kepyar mengakibatkan perubahan komposisi komponen-komponen kimia ampas jarak kepyar, terutama kadar protein dan serat. Semakin kecil ukuran partikel ampas jarak kepyar, kadar proteinnya semakin meningkat sedangkan kadar serat cenderung menurun (Tabel 2).

Geometri partikel seperti bentuk dan ukuran partikel berperan penting terhadap mutu papan partikel (Frybort *et al.*, 2008) serta berpengaruh sangat signifikan terhadap sifat papan partikel (Diebel *et al.*, 2012; Biswas *et al.*, 2010), khususnya terhadap distribusi kerapatan papan partikel (Kruse *et al.*, 2000). Ukuran partikel yang lebih kecil akan menghasilkan papan partikel yang lebih baik (Osarenmwinda dan Nwachuku, 2007). Kekuatan rekat papan partikel akan meningkat seiring dengan penurunan ukuran partikel (Ngueho *et al.*, 2008).

Sifat Fisik dan Mekanik Papan Partikel

Pada penelitian ini, papan partikel mempunyai kerapatan berkisar antara 0,9-0,95 g/cm³ (Tabel 4) dan mayoritas telah memenuhi persyaratan dari JIS A 5908-2003 (0,40-0,90 g/cm³). Hasil analisis keragaman menunjukkan bahwa hanya ukuran partikel yang berpengaruh nyata terhadap kerapatan papan partikel. Kerapatan papan partikel meningkat seiring penurunan ukuran partikel dari 20 mesh hingga 60 mesh, dan penurunan lebih lanjut ukuran partikel ampas jarak kepyar menurunkan kerapatannya (Gambar 1). Fenomena tersebut teramati pada seluruh kondisi proses yang diuji.

Kerapatan papan partikel menunjukkan rasio massa terhadap volume papan. Semakin tinggi kerapatan papan, kekompakan dan kekuatan papan akan semakin baik. Kerapatan papan partikel dipengaruhi oleh jenis dan kerapatan bahan baku yang digunakan. Bahan baku dengan kerapatan rendah (< 1 g/cm³) lebih disukai dalam pembuatan papan partikel karena dapat menghasilkan kekuatan papan yang lebih tinggi (Haygreen dan Bowyer, 1996). Hasil penelitian Nwigbo *et al.* (2013) menunjukkan bahwa kerapatan ampas jarak kepyar sebesar 0,69 g/cm³. Hal tersebut memungkinkan ampas jarak kepyar dimanfaatkan sebagai bahan baku papan partikel.

Partikel dengan ukuran lebih kecil memiliki kekuatan mekanik yang lebih besar karena luas total permukaan partikel-partikel berukuran lebih kecil tersebut lebih besar, dan ketika pengempaan panas diterapkan kekompakan antar partikel akan lebih mudah tercapai (Kruse *et al.*, 2000). Dalam penelitian ini, papan dengan kerapatan tinggi (0,95 g/cm³) dihasilkan dari bahan baku dengan ukuran partikel 60 mesh dan kondisi proses pada suhu

170°C, waktu kempa 8 menit, dan tekanan kempa 180 kgf/cm² (Gambar 1).

Kadar air papan partikel ampas jarak kepyar berkisar antara 6,58-6,94% (Tabel 4). Hasil analisis keragaman menunjukkan hanya ukuran partikel berpengaruh secara nyata terhadap kadar air papan partikel. Kadar air papan partikel ampas jarak kepyar meningkat seiring penurunan ukuran partikel dari 20 mesh hingga 60 mesh, dan menurun ketika ukuran partikel > 60 mesh (Gambar 2). Fenomena tersebut teramati pada seluruh kondisi proses yang diuji. Kadar air terendah (6,58%) diperoleh dari kondisi proses ukuran partikel 20 mesh dengan suhu kempa 170°C, waktu kempa 8 menit dan tekanan kempa 180 kgf/cm². Kadar air papan partikel yang dihasilkan pada penelitian ini seluruhnya telah memenuhi JIS A 5908-2003 (5-13%).

Fenomena peningkatan atau penurunan kadar air berhubungan dengan sedikit atau banyaknya struktur acak mikro dengan jalinan partikel lebih rapat dan kuat yang dapat dihasilkan saat proses pengecilan ukuran bahan baku papan partikel tersebut (Kumar *et al.* 2002). Bahan baku dengan struktur acak mikro lebih banyak, memungkinkan terjadinya proses adhesi protein dengan serat menjadi lebih efektif selama proses pengempaan panas, sehingga papan partikel menjadi lebih kompak dan molekul-molekul air tidak mudah menguap. Struktur acak mikro dan jalinan antar partikel yang terbaik diperoleh untuk ukuran partikel 60 mesh. Untuk ukuran partikel ampas jarak kepyar > 60 mesh, kemampuan membentuk struktur acak mikro kembali menurun karena untuk ukuran yang terlalu kecil mengakibatkan rendahnya interaksi antar partikel sehingga jalinan partikel yang terbentuk kurang kompak, dan hal tersebut memfasilitasi proses penguapan air selama pengempaan panas.

Kadar air papan partikel selain dipengaruhi oleh ukuran partikel bahan baku, juga dipengaruhi oleh kerapatan papan partikel. Papan partikel berkerapatan tinggi, memiliki susunan partikel yang rapat sehingga tidak banyak molekul-molekul air yang dapat mengisi rongga atau pori di antara jalinan partikel papan partikel tersebut (Kollman *et al.*, 1975). Pada penelitian ini, papan partikel dengan kerapatan tertinggi (0,95 g/cm³) memiliki kadar air tertinggi pula (6,94%) (Tabel 4).

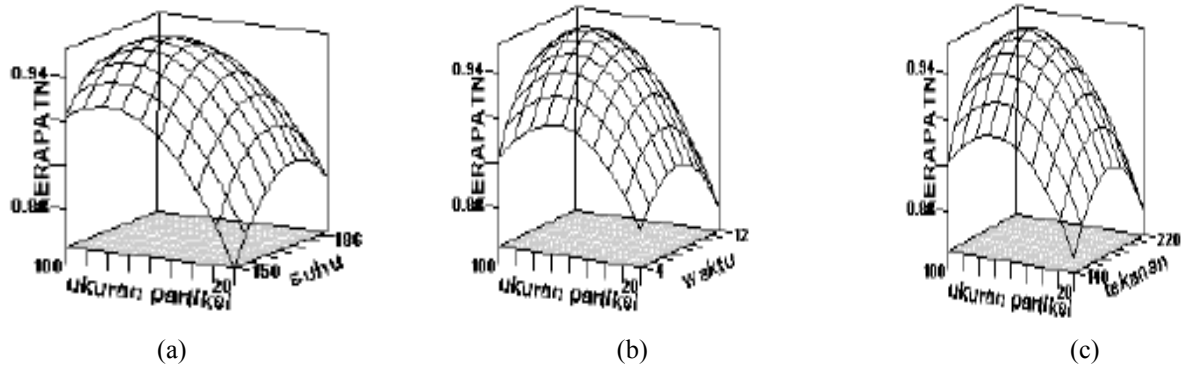
Papan dengan kerapatan dan kadar air tertinggi tersebut berasal dari bahan baku berukuran 60 mesh. Fenomena ini dapat terjadi selain karena faktor struktur acak mikro yang terdapat pada bahan baku juga dipengaruhi oleh kandungan air pada bahan baku. Hasil penelitian Li *et al.* (2009) menunjukkan bahwa kerapatan papan partikel meningkat seiring dengan peningkatan kadar air bahan baku (maksimum 35%). Dalam penelitian ini, kadar air bahan baku ukuran 60 mesh memiliki nilai tertinggi sebesar 7.80% (Tabel 2).

Tabel 4. Sifat fisik dan mekanik papan partikel ampas jarak kepyar yang diproduksi pada berbagai kondisi proses

X1	X2	X3	X4	KA(%)	KP(g/cm ³)	WA2(%)	WA24(%)	TS2(%)	TS24(%)	MOE(kgf/cm ²)	MOR(kgf/cm ²)	IB(kgf/cm ²)
160	6	160	40	6,63±0,01	0,90±0,01	50,80±0,14	87,97±0,09	24,48±0,15	51,91±0,54	1438 ±137,99	20,20 ±0,20	1,55 ±0,05
160	6	160	80	6,81±0,01	0,93±0,01	47,54±0,01	82,68±0,01	20,18±0,04	44,81±1,09	1572 ±22,88	21,86 ±1,45	1,66 ±0,03
160	6	200	40	6,62±0,01	0,91±0,01	52,20±0,79	86,16±0,05	24,09±0,71	66,00±0,23	1452 ±98,28	19,81 ±0,36	1,58 ±0,02
160	6	200	80	6,84±0,01	0,94±0,01	47,09±0,04	81,36±0,65	19,84±0,08	42,67±0,13	1416 ±57,95	22,39 ±0,40	1,74 ±0,02
160	10	160	40	6,69±0,01	0,91±0,01	50,15±0,01	86,08±0,04	23,21±0,23	65,50±0,64	1544 ±79,66	22,66 ±0,31	1,76 ±0,04
160	10	160	80	6,89±0,01	0,94±0,01	47,36±0,30	82,17±0,04	19,61±0,17	41,88±0,03	1607±178,83	21,41 ±0,11	1,66 ±0,06
160	10	200	40	6,65±0,01	0,90±0,01	52,37±0,03	87,10±0,02	23,94±0,04	58,71±0,03	1641±210,16	20,67 ±0,22	1,53 ±0,07
160	10	200	80	6,87±0,01	0,94±0,01	48,05±0,01	82,30±0,41	20,81±0,07	45,87±0,18	1388 ±16,24	23,28 ±0,08	1,69 ±0,04
180	6	160	40	6,66±0,01	0,91±0,01	50,55±0,01	85,68±0,02	24,70±0,02	65,88±0,19	2078 ±17,13	28,59 ±0,25	1,92 ±0,01
180	6	160	80	6,85±0,01	0,93±0,01	47,35±0,48	83,27±0,04	21,45±0,10	46,17±0,20	1499 ±14,94	20,73 ±0,26	1,63 ±0,04
180	6	200	40	6,65±0,01	0,91±0,01	53,53±0,03	86,06±0,26	24,75±0,50	65,54±0,14	1463 ±22,51	19,37 ±0,31	1,54 ±0,03
180	6	200	80	6,86±0,01	0,92±0,02	47,88±0,03	81,61±0,01	20,31±0,50	44,22±0,11	1461 ±53,85	24,79 ±1,08	1,80 ±0,04
180	10	160	40	6,68±0,01	0,91±0,01	53,66±0,05	86,15±0,18	23,81±0,07	59,74±0,36	2124 ±30,60	25,13 ±0,14	1,77 ±0,04
180	10	160	80	6,75±0,12	0,93±0,01	47,99±0,22	81,15±0,01	18,81±0,10	47,71±0,06	1684 ±54,21	25,40 ±0,52	1,73 ±0,01
180	10	200	40	6,66±0,01	0,90±0,01	55,27±0,01	88,35±0,02	24,35±0,44	61,06±0,40	1711 ±17,03	21,52 ±0,58	1,54 ±0,04
180	10	200	80	6,83±0,03	0,94±0,01	49,11±0,02	81,86±0,06	20,20±0,04	46,64±0,88	2347 ±10,41	31,05 ±0,13	2,09 ±0,09
150	8	180	60	6,74±0,04	0,92±0,01	49,74±0,06	79,08±0,51	17,87±0,06	39,64±0,01	1279 ±5,56	19,12 ±0,99	1,50 ±0,03
190	8	180	60	6,76±0,03	0,92±0,01	50,31±0,07	79,08±0,51	16,95±0,03	38,33±0,30	1735±48,38	22,90 ±0,13	1,66 ±0,02
170	4	180	60	6,71±0,01	0,92±0,01	51,37±0,04	78,64±0,11	16,15±0,01	40,33±0,33	1698±10,95	21,73 ±0,86	1,59 ±0,06
170	12	180	60	6,67±0,01	0,92±0,01	51,99±0,04	79,79±0,52	15,11±0,09	34,74±0,46	2077±15,44	25,59 ±0,52	1,78 ±0,06
170	8	140	60	6,73±0,02	0,91±0,01	51,32±0,31	77,86±0,24	15,64±0,26	32,12±0,35	1400±77,79	22,20 ±0,23	1,67 ±0,03
170	8	220	60	6,64±0,01	0,92±0,01	45,54±0,07	78,66±0,09	14,81±0,12	31,01±0,14	1489 ±1,88	22,84 ±3,85	1,67 ±0,15
170	8	180	20	6,58±0,01	0,90±0,01	55,70±0,71	90,85±0,06	24,91±0,04	69,11±0,62	1389±31,66	24,74 ±1,07	1,67 ±0,06
170	8	180	100	6,65±0,01	0,91±0,01	51,43±0,06	89,17±0,30	24,29±0,02	68,43±0,17	2122±70,99	25,87 ±0,30	1,84 ±0,06
170	8	180	60	6,94±0,02	0,95±0,01	45,07±0,03	76,54±0,01	14,82±0,06	29,51±0,68	2445±46,90	31,74 ±0,03	2,27 ±0,01

Keterangan :

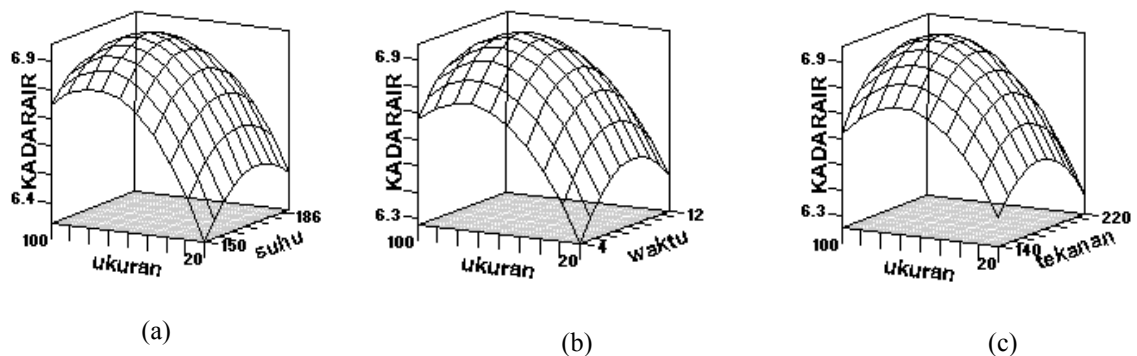
X ₁	=	Suhu kempa (°C);	X ₂	=	Waktu kempa (menit);	X ₃	=	Tekanan kempa (kgf/cm ²);	X ₄	=	Ukuran partikel (mesh);
KA	=	Kadar air;	KP	=	Kerapatan;	WA2	=	Serap air pada perendaman 2 jam;	WA24	=	Daya serap air pada perendaman 24 jam;
TS2	=	Pengembangan tebal pada perendaman 2 jam;	TS24	=	Pengembangan tebal pada perendaman 24 jam;	MOE	=	Kekuatan lentur;	MOR	=	Keteguhan Patah;
IB	=	Keteguhan rekat;									



Keterangan :

Kerapatan (g/cm^3), Suhu ($^{\circ}\text{C}$), waktu (menit), tekanan (kgf/cm^2), ukuran partikel (mesh)

Gambar 1. Plot permukaan respon untuk kerapatan papan partikel pada berbagai kondisi proses (a) Ukuran partikel terhadap suhu (b) Ukuran partikel terhadap waktu (c) Ukuran partikel terhadap tekanan



Keterangan :

Kadar air (%), Suhu ($^{\circ}\text{C}$), waktu (menit), tekanan (kgf/cm^2), ukuran partikel (mesh)

Gambar 2. Plot permukaan respon untuk kadar air papan partikel pada berbagai kondisi proses (a) Ukuran partikel terhadap suhu; (b) Ukuran partikel terhadap waktu dan (c) Ukuran partikel terhadap tekanan

Selain kadar air, daya serap air papan partikel merupakan salah satu sifat fisik yang menunjukkan kemampuan papan partikel dalam menyerap air. Air tersebut akan mengisi volume rongga kosong dalam papan. JIS A 5908-2003 tidak menetapkan standar untuk daya serap air, akan tetapi perlu dilakukan pengujian untuk mengetahui ketahanan papan partikel jika digunakan untuk penggunaan eksterior. Papan partikel dengan daya serap air rendah akan lebih tahan lama dan disukai konsumen.

Daya serap air papan partikel setelah perendaman selama 2 dan 24 jam pada penelitian ini berkisar antara 45,07-55,70% dan 76,54-90,85% (Tabel 4). Berdasarkan hasil analisis keragaman, hanya ukuran partikel yang berpengaruh nyata terhadap daya serap air baik yang direndam selama 2 jam maupun 24 jam. Daya serap air papan partikel akan semakin rendah seiring dengan semakin kecilnya ukuran partikel (dari 20 mesh sampai 60 mesh). Pada ukuran partikel yang lebih kecil (> 60

mesh) menunjukkan fenomena sebaliknya, yaitu daya serap air cenderung meningkat (Gambar 3 dan 4). Kecenderungan tersebut teramati pada seluruh proses yang diuji. Pada penelitian ini, papan partikel dengan daya serap air terendah (45,07% untuk perendaman selama 2 jam dan 76,54% untuk perendaman selama 24 jam) diperoleh dari bahan baku berukuran 60 mesh dengan kondisi proses pengempaan 170°C , 8 menit dan 180 kgf/cm^2 . Pada kondisi proses tersebut kerapatan dan kadar air papan partikel adalah yang tertinggi ($0,95 \text{ g/cm}^3$ dan 6,94 %).

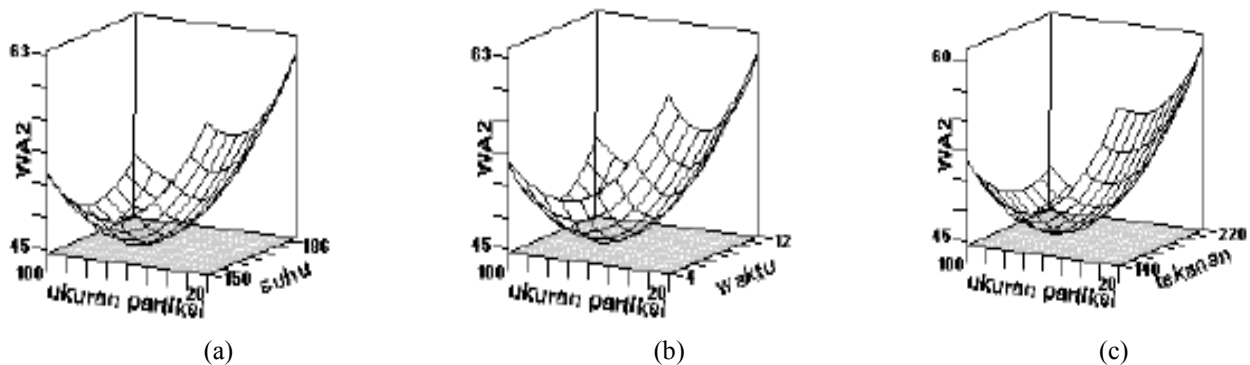
Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, papan partikel yang diproduksi dari ampas bahan baku berukuran 60 mesh memiliki struktur partikel yang lebih kompak (kerapatan papan paling tinggi) sehingga volume rongga kosongnya juga semakin sedikit. Hal tersebut menyebabkan semakin berkurangnya kemampuan papan dalam menyerap air. Fenomena ini sesuai dengan hasil penelitian Li *et al.* (2009) yang menyatakan bahwa peningkatan

kadar air bahan akan menurunkan daya serap air papan partikel. Pada penelitian sebelumnya (Kumar *et al.*, 2002) menunjukkan bahwa daya adhesi protein dengan serat dapat ditingkatkan apabila struktur geometri (bentuk dan ukuran partikel) bahan baku memiliki banyak struktur acak mikro seperti jalinan partikel (*finger joint*) sehingga memudahkan proses perekatan antara protein dengan serat, selain peranan air sebagai pemicu bagi mekanisme perekatan tersebut.

Daya serap air seiring dengan pengembangan tebal papan yaitu dengan meningkatnya penyerapan air maka pengembangan tebal juga akan semakin meningkat karena terjadi peningkatan volume papan yang terisi oleh partikel-partikel air. Papan partikel dengan kekompakan partikel yang lebih tinggi akan memiliki pengembangan tebal yang rendah terkait dengan kemampuan dalam menahan tegangan balik yang ditimbulkan terutama dalam arah tebal ketika papan direndam dalam air. Pada penelitian ini

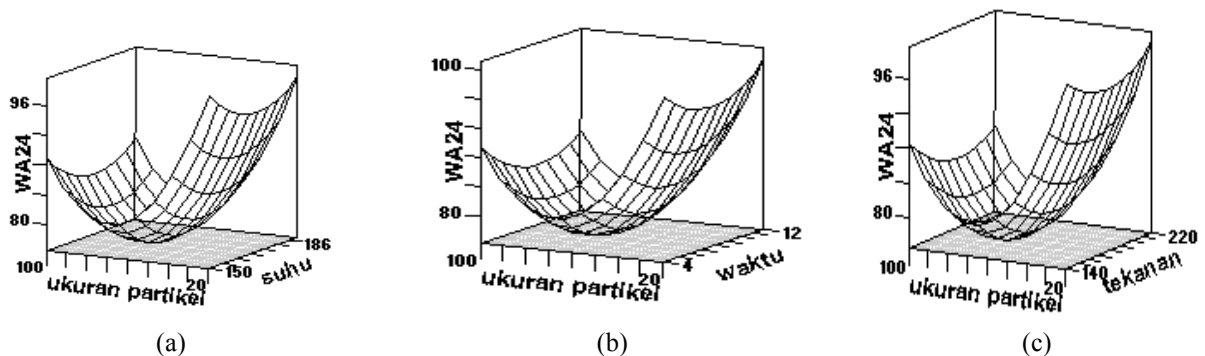
pengembangan tebal papan partikel untuk perendaman selama 2 dan 24 jam berkisar antara 14,82-24,91% dan 29,51- 69,11% (Tabel 4). Hasil analisis keragaman menunjukkan hanya ukuran partikel yang berpengaruh nyata terhadap pengembangan tebal papan partikel. Fenomena yang sama teramati pada seluruh kondisi proses yang diuji (Gambar 5 dan 6).

Papan partikel yang diproduksi dari ampas jarak kepyar dengan ukuran partikel terbesar (20 mesh) memiliki kerapatan terendah ($0,90 \text{ g/cm}^2$), kadar air terendah (6,58%), daya serap air tertinggi (55,7% pada 2 jam perendaman) serta pengembangan tebalnya juga terbesar (24,91% pada 2 jam perendaman). Sebaliknya, papan partikel yang diproduksi dari ampas jarak kepyar dengan ukuran partikel 60 mesh memiliki kerapatan tertinggi ($0,95 \text{ g/cm}^3$), kadar air tertinggi (6,94%), daya serap air terendah (45,07%) serta pengembangan tebal terendah juga (14,82%).



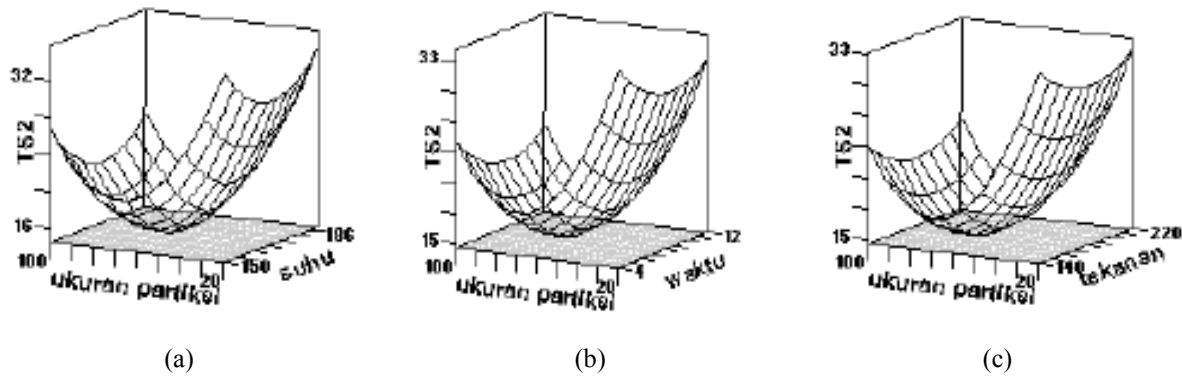
Keterangan : WA2 (%), Suhu ($^{\circ}\text{C}$), waktu (menit), tekanan (kgf/cm^2), ukuran partikel (mesh)

Gambar 3. Plot permukaan respon untuk daya serap air (perendaman 2 jam) WA2 pada berbagai kondisi proses (a) Ukuran partikel terhadap suhu (b) Ukuran partikel terhadap waktu (c) Ukuran partikel terhadap tekanan



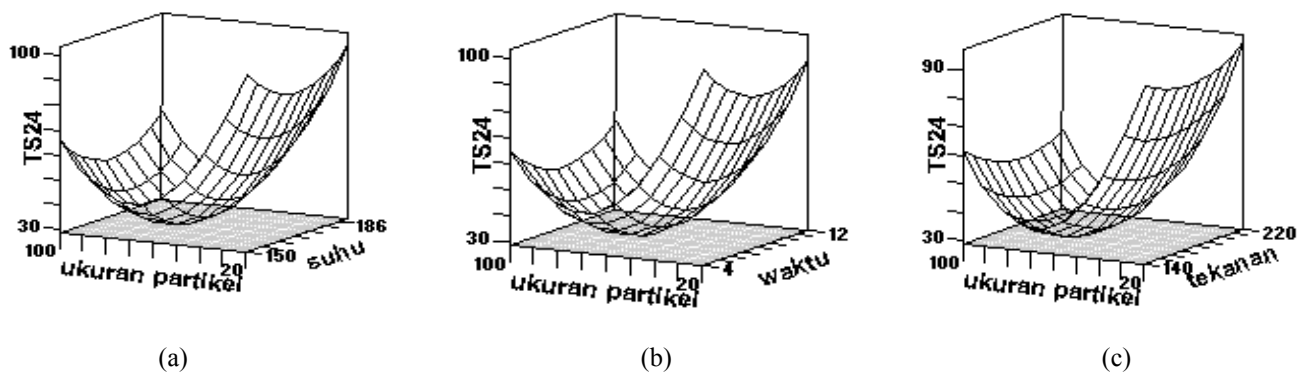
Keterangan : WA24 (%), Suhu ($^{\circ}\text{C}$), waktu (menit), tekanan (kgf/cm^2), ukuran partikel (mesh)

Gambar 4. Plot permukaan respon untuk daya serap air (perendaman 24 jam) WA24 pada berbagai kondisi proses (a) Ukuran partikel terhadap suhu (b) Ukuran partikel terhadap waktu (c) Ukuran partikel terhadap tekanan



Keterangan : TS2 (%), Suhu ($^{\circ}\text{C}$), waktu (menit), tekanan (kgf/cm^2), ukuran partikel (mesh)

Gambar 5. Plot permukaan respon untuk pengembangan tebal (perendaman 2 jam) TS2 pada berbagai kondisi proses (a) Ukuran partikel terhadap suhu (b) Ukuran partikel terhadap waktu (c) Ukuran partikel terhadap tekanan



Keterangan : TS24 (%), Suhu ($^{\circ}\text{C}$), waktu (menit), tekanan (kgf/cm^2), ukuran partikel (mesh)

Gambar 6. Plot permukaan respon untuk pengembangan tebal (perendaman 24 jam) pada berbagai kondisi proses (a) Ukuran partikel terhadap suhu (b) Ukuran partikel terhadap waktu (c) Ukuran partikel terhadap tekanan

Hal tersebut memperlihatkan keterkaitan antara pengembangan tebal papan partikel dengan daya serap air, kadar air dan kerapatannya. Pengembangan tebal yang tinggi disebabkan bahan baku dengan ukuran partikel besar (20 mesh) akan mengalami tekanan yang lebih besar ketika proses pengempaan, sehingga ketika direndam dalam air akan mengalami pembebasan tekanan yang lebih besar pula dan mengakibatkan daya serap air serta pengembangan tebalnya menjadi lebih tinggi (Suryadinata, 2005).

Untuk seluruh perlakuan pada penelitian ini menghasilkan papan partikel dengan pengembangan tebal melebihi persyaratan yang ditetapkan JIS A 5908-2003 (maksimum 12%). Papan partikel yang dihasilkan pada penelitian ini tidak dapat digunakan untuk kepentingan eksterior.

Kekuatan lentur (*Modulus of Elasticity*, MOE) menunjukkan daya tahan terhadap deformasi di bawah beban (Haygreen dan Bowyer, 1996). MOE papan partikel pada penelitian ini berkisar antara 1279 - 2444 kgf/cm^2 (Tabel 4). MOE papan partikel hasil penelitian ini masih jauh di bawah

standar yang ditetapkan JIS A 5908-2003 (minimum 20400 kgf/cm^2). Hasil analisis keragaman menyatakan bahwa suhu dan waktu kempa berpengaruh nyata terhadap MOE. Pada suhu $\leq 170^{\circ}\text{C}$ MOE cenderung meningkat, sedangkan pada suhu $>170^{\circ}\text{C}$ MOE cenderung menurun (Gambar 7). Kecenderungan yang sama juga teramati pada perlakuan waktu pengempaan ≤ 8 menit dan tekanan kempa $\leq 180 \text{ kgf/cm}^2$. Fenomena tersebut teramati pula pada penelitian sebelumnya (Evon *et al.*, 2010) bahwa MOE papan partikel meningkat dengan peningkatan suhu kempa hingga mendekati suhu degradasi protein sekitar $\geq 200^{\circ}\text{C}$. Kemampuan protein sebagai perekat akan berkurang ketika suhu kempa melebihi suhu degradasi tersebut.

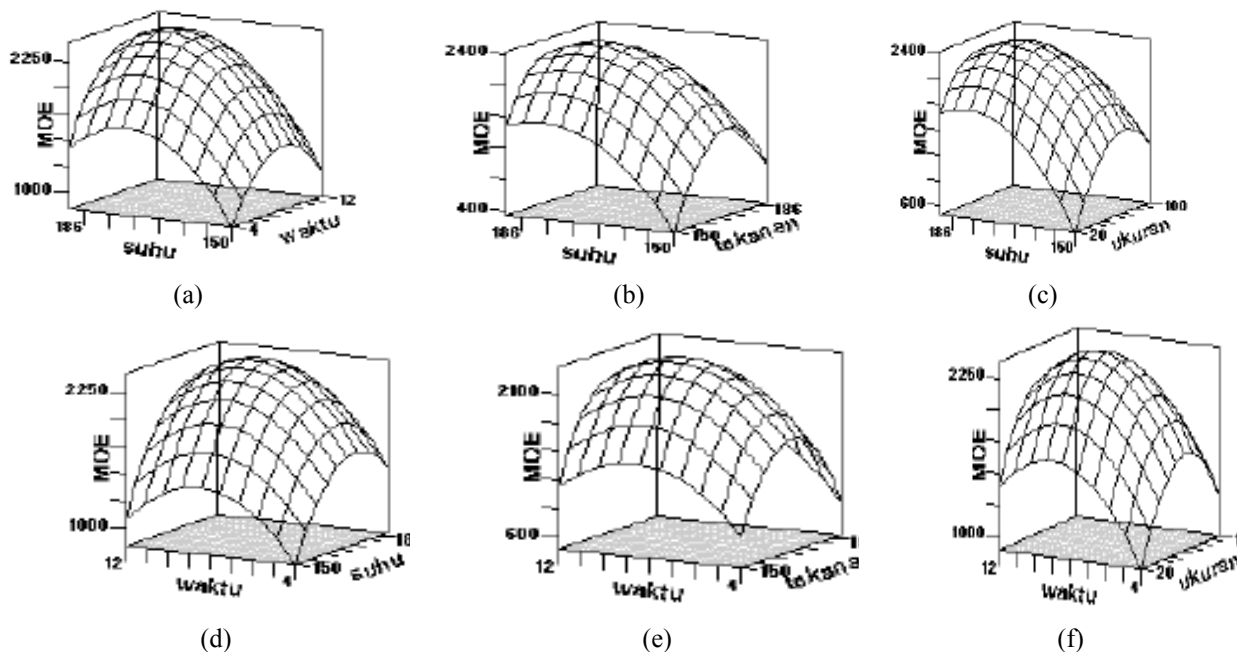
Rendahnya nilai MOE menunjukkan bahwa kemampuan papan partikel dalam menahan deformasi di bawah pengaruh beban masih rendah. Efek deformasi dapat diminimalkan apabila bahan bersifat elastis. Peranan polimer protein yang mengalami denaturasi dapat meningkatkan daya elastisitasnya. Daya elastisitas papan partikel

dipengaruhi oleh semakin meningkatnya interaksi polimer protein dengan permukaan serat. Proses kempa panas yang bekerja pada rentang suhu denaturasi dan suhu eksotermik protein dari ampas jarak kepyar akan merubah struktur protein yang awalnya teratur menjadi struktur yang acak artinya ampas jarak kepyar yang awalnya bersifat kaku menjadi lebih mudah dibentuk atau lebih elastis sehingga meningkatkan daya adhesi protein dengan permukaan serat (Li *et al.*, 2009).

Waktu kempa berkorelasi terhadap kecukupan waktu yang dibutuhkan selama proses pengempaan agar tercapainya interaksi yang optimal antara protein dengan permukaan serat sehingga kekuatan papan partikel dapat meningkat, sedangkan tekanan kempa terkait dengan kemampuan menguapkan air yang terkandung pada bahan selama proses pengempaan (Li *et al.*, 2009). Namun demikian tekanan kempa tidak berpengaruh signifikan dalam penelitian ini. Papan partikel yang dihasilkan pada penelitian memiliki MOE (2448,48 kgf/cm²) tertinggi pada saat waktu kempa 8 menit, suhu kempa 170°C, tekanan kempa 180 kgf/cm² dan ukuran partikel 60 mesh.

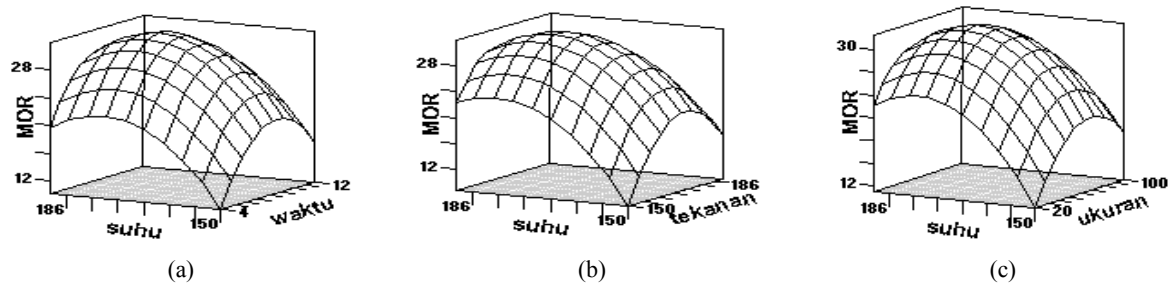
Modulus of Rupture (MOR) atau keteguhan patah adalah sifat mekanik suatu bahan yang menunjukkan kuat lentur maksimum yang dapat

diterima bahan sampai bahan mengalami rusak atau patah (Haygreen dan Bowyer, 1996). MOR papan partikel ampas jarak kepyar berkisar antara 19,12 – 31,74 kgf/cm² (Tabel 4). Hasil analisis keragaman menyatakan bahwa suhu kempa mempengaruhi MOR. MOR papan partikel semakin meningkat ketika suhu kempa meningkat dari 150 °C hingga 170°C, dan kemudian menurun ketika suhu terus ditingkatkan hingga 190°C (Gambar 8). Fenomena yang sama juga teramati pada kondisi proses pengempaan lainnya, yaitu ketika waktu kempa ditingkatkan dari 4 hingga 8 menit dan tekanan kempa ditingkatkan dari 160 hingga 180 kgf/cm². MOR papan partikel sangat dipengaruhi oleh ikatan yang terbentuk antara komponen serat seperti selulosa, hemiselulosa dengan lignin ataupun kekuatan ikat internal dari masing-masing komponen serat tersebut (Zhou *et al.*, 2011). Mekanisme sistem perekatan antara partikel-partikel serat sebagai hasil degradasi selulosa dan lignin membutuhkan suhu di atas 200°C (Angels *et al.*, 1999), sedangkan suhu pengempaan tertinggi pada penelitian ini adalah 190°C sehingga peranan selulosa dan lignin sebagai perekat belum teraktifkan secara optimal dan mengakibatkan MOR papan partikel rendah.



Keterangan : MOE kgf/cm², Suhu (°C), waktu (menit), tekanan (kgf/cm²), ukuran partikel (mesh)

Gambar 7. Plot permukaan respon untuk kekuatan lentur pada berbagai kondisi proses (a) Suhu terhadap waktu (b) Suhu terhadap tekanan (c) Suhu terhadap ukuran partikel (d) Waktu terhadap suhu (e) Waktu terhadap tekanan (f) Waktu terhadap ukuran partikel



Keterangan : MOR (kgf/cm²), Suhu (°C), waktu (menit), tekanan (kgf/cm²), ukuran partikel (mesh)

Gambar 8. Plot permukaan respon untuk keteguhan patah pada berbagai kondisi proses (a) Suhu terhadap waktu, (b) Suhu terhadap tekanan, (c) Suhu terhadap ukuran partikel

Dalam produksi *binderless* papan partikel, serat terutama lignin dan protein menjadi promotor utama untuk perekatan selama proses pengempaan panas (Mancera *et al.*, 2011). Kemampuan protein sebagai perekat selama proses pengempaan pun belum bekerja optimal karena papan partikel memiliki kadar air bahan baku yang rendah (7,8%). Air dapat memfasilitasi dan berperan untuk mempermudah pergerakan protein sehingga daya adhesi protein dengan serat dapat ditingkatkan (Li *et al.*, 2011). MOR papan partikel yang dihasilkan dari penelitian ini belum memenuhi persyaratan JIS A 5908-2003 (minimal 82 kgf/cm²). MOR papan partikel tertinggi pada penelitian ini adalah 31,74 kgf/cm², diperoleh dari ampas jarak kepyar berukuran 60 mesh dengan kondisi proses pengempaan pada suhu 170°C, waktu 8 menit dan tekanan 180 kgf/cm².

MOE dan MOR papan partikel yang rendah dapat ditingkatkan dengan meningkatkan kadar air ampas jarak kepyar. Air dapat berfungsi sebagai plastisizer yang mengurangi suhu eksotermik protein sehingga pergerakan rantai polipeptida protein menjadi meningkat dan interaksi protein dengan molekul lain menjadi lebih mudah (Li *et al.*, 2009), sehingga daya rekat protein dan serat meningkat selama proses pengempaan dan kekuatan mekanik menjadi lebih tinggi. Selain itu, peningkatan waktu kempa juga dapat meningkatkan kekuatan mekanik papan. Waktu kempa yang lebih lama dapat menguapkan sisa-sisa air di dalam papan sehingga memfasilitasi interaksi protein dengan serat dan pada akhirnya kekuatan mekanik papan menjadi lebih baik.

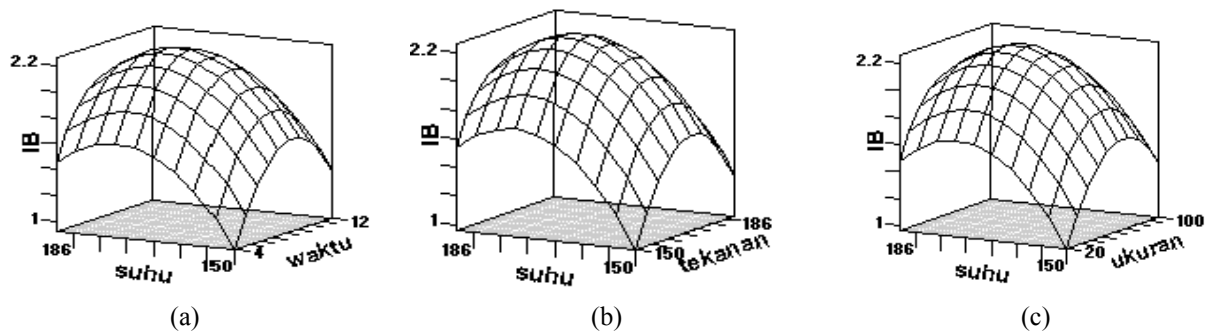
Keteguhan rekat (*Internal Bonding*, IB) merupakan kekuatan tarik tegak lurus bidang panel (Haygreen dan Bowyer, 1996). Keteguhan rekat berkaitan dengan kualitas pembuatan papan partikel karena menunjukkan kekuatan ikatan antara partikel-partikelnya. IB papan partikel yang dihasilkan dalam penelitian ini berkisar antara 1,50-2,27 kgf/cm² (Tabel 4). JIS A 5908-2003 menetapkan IB minimum sebesar 1,5 kg/cm², sehingga IB papan partikel ampas jarak kepyar untuk seluruh perlakuan telah memenuhi persyaratan.

Hasil analisis keragaman menyatakan bahwa suhu kempa berpengaruh nyata terhadap IB.

IB papan partikel semakin meningkat seiring dengan peningkatan suhu dari 150°C hingga 170°C dan cenderung menurun ketika suhu ditingkatkan hingga 190°C (Gambar 9). Fenomena tersebut juga teramati ketika waktu kempa ditingkatkan dari 4 hingga 8 menit dan tekanan kempa ditingkatkan dari 140 hingga 180 kgf/cm². Suhu pengempaan yang semakin tinggi sangat berpengaruh terhadap terjadinya proses degradasi protein, selulosa, hemiselulosa dan lignin. Dalam penelitian ini, pada suhu kempa 170°C protein diperkirakan sudah terdenaturasi dan sebagian terdegradasi yang mengakibatkan kemampuan protein sebagai pengikat serat menurun sedangkan selulosa dan lignin belum berperan sebagai perekat karena suhu pengempaan masih berada di bawah suhu degradasi selulosa pada 220°C dan lignin pada 200°C (Angels *et al.*, 1999).

Dengan demikian, pada saat pengempaan panas, hanya hemiselulosa yang baru terdegradasi (170°C) akan tetapi hemiselulosa yang terdegradasi pada ampas jarak kepyar jumlahnya sangat kecil (3,85%) sehingga perekatan antara komponen belum optimal dan hal ini menyebabkan kekuatan rekat masih cukup rendah. Peningkatan IB berkorelasi dengan peningkatan MOR papan partikel seiring dengan peningkatan suhu kempa. Suhu berpengaruh terhadap proses terjadinya mekanisme perekatan antar permukaan serat dan peningkatan daya adhesi protein dengan serat sehingga diperoleh ikatan antar komponen yang lebih kuat dalam bentuk nilai MOR dan nilai IB yang lebih tinggi.

Keterkaitan IB dengan ukuran partikel berhubungan juga dengan kerapatannya, semakin kecil ukuran partikel, kerapatan papan yang dihasilkan akan semakin tinggi dan akan meningkatkan IB. Pada kondisi tersebut kontak antar partikel meningkat sehingga jumlah volume ruang kosong antar partikel menurun dan ukuran volume ruang kosong yang terbentuk juga lebih kecil. Kerapatan partikel yang terlalu tinggi mengakibatkan kontak antar partikel menjadi tidak seragam dan kurang intensif pada saat proses pengempaan sehingga pembentukan ikatan yang lebih kuat antara komponen serat menjadi berkurang (Hashim *et al.*, 2011b).



Keterangan : IB (kgf/cm²), Suhu (°C), waktu (menit), tekanan (kgf/cm²), ukuran partikel (mesh)

Gambar 9. Plot permukaan respon untuk keteguhan rekat pada berbagai kondisi proses (a) suhu terhadap waktu, (b) suhu terhadap tekanan, (c) suhu terhadap ukuran partikel

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Papan partikel dari ampas jarak kepyar memiliki sifat fisik dan mekanik yang cukup baik walaupun belum memenuhi standar JIS A 5098-2003 kecuali kadar air, kerapatan dan keteguhan rekatnya. Kondisi proses pengempaan mempengaruhi sifat fisik dan mekanik papan partikel. Namun demikian, ukuran partikel berpengaruh signifikan terhadap sifat fisik papan (kadar air, kerapatan, daya serap air dan penegembangan tebal) dan suhu kempa berpengaruh secara signifikan terhadap sifat mekanik (MOE, MOR dan IB) papan partikel tersebut. Pada ukuran partikel ampas jarak 60 mesh, diperoleh sifat fisik dan mekanik papan partikel terbaik dengan kondisi proses pengempaan optimumnya diperoleh pada 170°C, 8 menit, dan 180 kgf/cm².

Saran

Saran untuk kelanjutan penelitian adalah perlunya peningkatan kadar air ampas jarak lebih besar dari 7% serta penambahan serat untuk meningkatkan sifat fisik dan mekanik papan partikel yang dihasilkan sehingga kekuatan papan partikel meningkat.

DAFTAR PUSTAKA

- Akande TO, Odunsi AA, Olabode OS, Ojediran TK. 2012. Physical and nutrient characterisation of raw and processed *castor (Ricinus communis L.)* seeds in Nigeria. *World J Agric Sci.* 8 (1):89-95.
- Akaranta O. 2000. Production of particle boards from bioresources. *Biores Tech.* 75:87-89.
- Angels MN, Reguant J, Montane D, Ferrando F, Salvado J. 1999. Binderless composites from pretreated residual softwood. *J Appl Polym Sci.* 73:2485-2491.
- Annongu AA dan Joseph JK. 2008. Proximate analysis of castor seeds and cake. *J Appl Sci Environ Mgmt.* 12 (1):39-41.
- [ASTM] American Society for Testing and Material. 2009. Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber. West Conshohocken (US): ASTM D143.
- Batista MJ, Dias AN dan Delfim CF. 2011. Metabolizable energy and nutrient digestibility of detoxified castor meal and castor cake for poultry. *R Bras Zootec* 40(11):2439-2442.
- Biswas D, Kanti BS, dan Mozaffar HM. 2010. Physical and mechanical properties of urea formaldehyde-bonded particleboard made from bamboo waste. *Int J Adhesion and Adhe.* 31(2): 84-87.
- Dean A dan Voss D. 1999. *Design and Analysis of Experiments*. New York: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Diebel W, Reddy MM, Misra M, Mohanty A. 2012. Material property characterization of co-products from biofuel industries: Potensial uses in value-added biocomposites. *Biomass & Bioen.* 37: 88-96.
- Evon Ph, Vandenbossche V, Pontalier PY, Rigal L. 2010. Thermo-mechanical behavior of the raffinate resulting from the aqueous extraction of sunflower whole plant in twin-screw extruder: Manufacturing of biodegradable agromaterials by thermo-pressing. *Adv Mat Res.* 112: 63-72.
- Evon P, Vandenbossche V, dan Rigal L. 2012. Manufacturing of renewable and biodegradable fiberboards from cake generated during biorefinery of sunflower whole plant in twin-screw extruder: Influence of thermo-pressing condition. *Polym Deg Stab.* 1-8.
- Fengel D dan Wegener G. 1995. *Kayu: Kimia, Ultrastruktur, Reaksi-Reaksi* Prawirohatmodjo S Penerjemah. Yogyakarta : UGM Press.
- Frybort S, Mauritz R, Teischinger A, Muller U. 2008. Cement bonded composites-A mechanical review. *Bio Res.* 3(2): 602-626.

- [JSA] Japanese Standards Association. 2003. Particleboards Japan. Japanese Industrial Standar (JIS) A 5908:2003.
- Hashim R, Said N, Lamaming J, Baskaran M, Sulaiman O, Sato M, Hiziroglu S, Sugimoto T. 2011a. Influence of press temperature on the properties of binderless particleboard made from oil palm trunk. *Matrials and Design*. 32:2520-2525.
- Hashim R, Nadhari WNAW, Sulaiman O, Kawamura F, Hiziroglu S, Sato M, Sugimoto T, Seng TG, Tanaka R. 2011b. Characterization of raw material and manufactured binderless particleboard from oil palm biomass. *Materials and Design*. 32: 246-254.
- Haygreen JG dan Bowyer JL. 1996. *Hasil Hutan dan Ilmu Kayu: Suatu Pengantar* [Cetakan Ketiga]. Hadikusumo SA. Penerjemah. Yogyakarta : UGM Press.
- Kalapathy U, Hettiarachchy NS, dan Hanna MA. 1995. Alkali modification of soy protein and their adhesive properties on wood. *J Am Oil Chem Soc*. 72:507-510.
- Kollman FFP, Kuenzi EW, dan Stamm AJ. 1975. *Principle of Wood Science and Technology*. New York: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Kruse K, Dai C, dan Pielasch A. 2000. An analysis of strand and horizontal density distributions in oriented stand board (OSB). *Europ J Wood and Wood Prod*. 58(4): 270-277.
- Kumar R, Choudhary V, Mishra S, Varma IK, Mattiason B. 2002. Adhesives and plastics based on soy protein products. *Ind Crops Prod*. 16:155-172.
- Lima RLS, Severino LS, Sampaio LR, Sofiatti V, Gomes JA. 2011. Blends of castor meal and castor husks for optimized use as organic fertilizer. *Ind Crop Prod*. 33:364-368.
- Li X, Li Y, Zhong Z, Wang D, Ratto JA, Sheng K, Sun XS. 2009. Mechanical and water soaking properties of medium density fiberboard with wood fiber and soybean protein adhesive. *Biores Technol*. 100: 3556-3562.
- Maloney TM. 1993. *Modern Particleboard and Dry-Process Fiberboard Manufacturing*. San Francisco: Miller Freeman Inc.
- Mancera C, Mansouri NEE, Ferrando F, Salvado J. 2011. The suitability of steam exploded *vitis vinifera* and alkaline lignin for the manufacture of fiberboard. *Biores Technol*. 6(4): 4439-4453.
- Marashdeh MW, Hasim R, dan Tajuddin AA . 2011. Effect of particle size on the characterization binderless particle board made from rhizophora spp. magrove wood for use as phantom materials. *Bio Res*. 6(4):4028-4044.
- Montgomery DC. 2001. *Design and Analysis of Experimental 5th Edition*. New York (US): John Wiley & Son.
- Nemli G dan Ozturk I. 2006. Influence of some factors on the formaldehyde content of particleboard. *J Build Environ*. 41: 770-774.
- Ngueho YMC, Blanchet P, Cloutier A, Koubaa A. 2008. Effects of bark content and particle geometry on the physical and mechanical properties of particle board made from black spruce and trembling aspen bark. *Forest Prod J*. 58(11): 48-56.
- Nwigbo SC, Okafor TC, dan Atuanya CU. 2013. The mechanical properties of castor seed sheel-polyester matrix composites. *Res J Appl Sci* .5(11):3159-3164.
- Okuda N, Hori K, dan Sato M. 2006a. Chemical changes of kenaf core binderless boards during hot pressing (II): Effects on the binderless board properties. *J Wood Sci*. 52:249-254.
- Okuda N, Hori K, dan Sato M. 2006b. Chemical changes of kenaf core binderless boards during hot pressing (I): Influence of the pressing temperature condition. *J Wood Sci*. 52:244-248.
- Osarenwinda J dan Nwachukwu J. 2007. Effect of partcle size on some properties of rice husk particle board. *Adv Mat Res*. 18: 43-48.
- Setiawan B. 2008. Papan partikel dari sekam padi. [Skripsi]. Bogor. Fakultas Kehutanan IPB.
- Roseli SL, Ana MQ, Hulda C. 2012. Castor bean cake as raw material for biodegradable material. <http://www.icef11.org/content/papers/fms/FMS174.pdf> [8 Desember 2013].
- Suryadinata E. 2005. Determinasi suhu dan waktu kempa optimum dalam pembuatan papan komposit dari limbah kayu dan karton gelombang [Skripsi]. Bogor. Fakultas Kehutanan. IPB.
- Van Soest PJ, Robertson JB, Lewis BA. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and non starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J Dairy Sci* .74: 3583-3597.
- Xu J, Sugawara R, Widyorini R, Han G, Kawai S. 2003. Manufacture and properties of low density binderless particleboard from kenaf core. *J Wood Sci*. 50:62-67.
- Zhou X, Lijuan T, Weidong Z, Chenglong Lv, Fei Z, Rong Z, Guanben D, Bijun T, Xueyuan L. 2011. Enzymatic hydrolysis lignin derived from corn stover as an intrinsic binder for bio-composites manufacture: effect of fiber moisture content and pressing temperature on boards properties. *Bio Res*. 6(1): 253-259.